

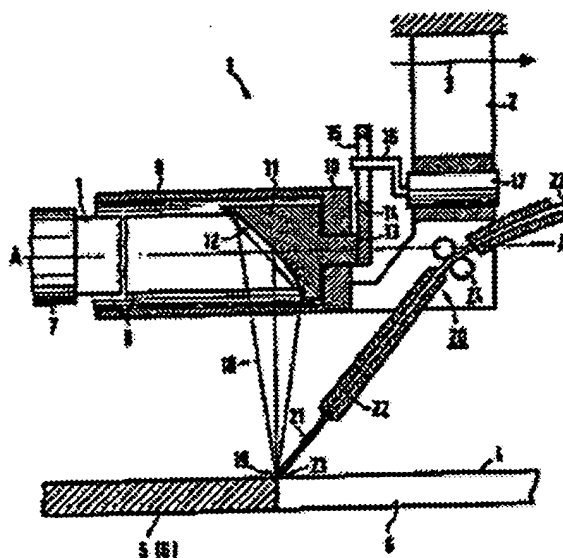
Laser radiation joining method

Patent number: DE19604205
Publication date: 1997-08-07
Inventor: KRAUS ALEXANDER DR ING (DE)
Applicant: MICHELS GMBH SONDERMASCHINENBA (DE)
Classification:
- international: **B23K26/18; B23K26/18; (IPC1-7): B23K26/08; B23K26/00**
- european: B23K26/18
Application number: DE19961004205 19960206
Priority number(s): DE19961004205 19960206

Report a data error here

Abstract of DE19604205

Joining workpieces (5, 6) by an optimally focussed laser radiation comprises: (i) supplying at least one additional material along the joining zone; (ii) bringing at least one laser beam (8, 18) onto the workpiece surface at an angle of 45-90 deg C; and (iii) introducing the laser energy into the joining zone in a distributed manner within an area which is greater than the focal area (19) of the optimally focussed beam. The additional material is melted and the resultant melt is supplied to the joining zone. Also claimed is an apparatus for implementing the above method.



Data supplied from the *esp@cenet* database - Worldwide



①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 196 04 205 A 1**

⑤1 Int. Cl.⁶:
B 23 K 26/00
// B23K 26/08

②1 Aktenzeichen: 196 04 205.4
②2 Anmeldetag: 6. 2. 96
④3 Offenlegungstag: 7. 8. 97

DE 196 04 205 A 1

⑦1 Anmelder:
Michels GmbH Sondermaschinenbau, 66121
Saarbrücken, DE

⑦4 Vertreter:
Zapfe, H., Dipl.-Ing., Pat.-Anw., 63150 Heusenstamm

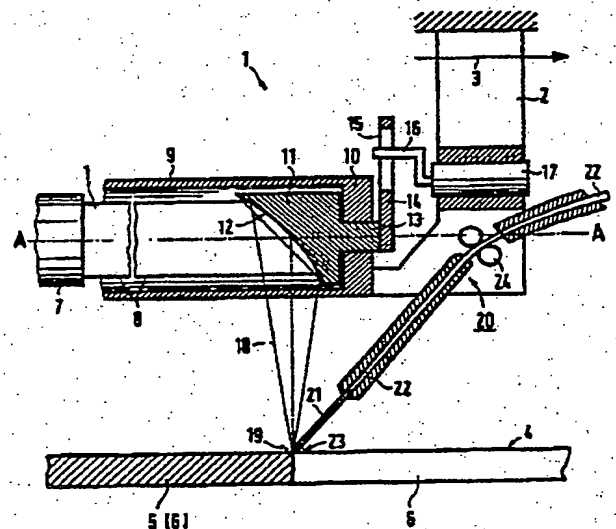
⑦2 Erfinder:
Kraus, Alexander, Dr.-Ing., 66287 Quierschied, DE

⑤6 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit
in Betracht zu ziehende Druckschriften:

DE	38 44 856 C2
DE	41 29 239 A1
US	48 03 334

⑤4 Verfahren und Vorrichtung zum Fügen von Werkstücken durch Laserstrahlung

⑤7 Beim Fügen von Werkstücken (5, 6) durch Laserstrahlung mit optimalem Fokussierungszustand gegenüber den Werkstücken (5, 6) und unter Zufuhr mindestens eines Zusatzwerkstoffs entlang eines aufzuschmelzenden Fügebereichs wird zwecks Überbrückung von Toleranzen im Fügebereich bei hoher Schweißgeschwindigkeit die Laserenergie unter einem Einfallswinkel zur Werkstückoberfläche zwischen 45 und 90 Grad innerhalb einer Fläche verteilt in den Fügebereich eingebracht, die größer als die Brennofläche (10) eines einzelnen Laserstrahls (18) ist. Hierbei wird auch der Zusatzwerkstoff durch die Laserstrahlung aufgeschmolzen und die Schmelze des Zusatzwerkstoffs wird dem Fügebereich zugeführt. Vorzugsweise wird mindestens ein Laserstrahl (8, 18) mit einer Bewegungskomponente, die quer zur Längsrichtung, und/oder in Längsrichtung des Fügebereichs verläuft, zum Aufschmelzen des Zusatzwerkstoffs über diesen geführt.



DE 196 04 205 A 1

Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Fügen von Werkstücken durch Laserstrahlung mit optimalem Fokussierungszustand gegenüber den Werkstücken unter Zufuhr mindestens eines Zusatzwerkstoffs entlang eines aufzuschmelzenden Fügebereichs.

Ein fokussierter Laserstrahl besitzt üblicherweise eine Kaustik, deren engster Querschnitt als Brennfläche bezeichnet wird. Unter dem Ausdruck "optimaler Fokussierungszustand" wird ein Zustand verstanden, mit dem Werkstücke mit idealer Geometrie an der Fügestelle und idealem Spannzustand der Werkstücke durch einen linear bewegten Laserstrahl verschweißt werden können. Üblicherweise liegt hierbei die Kaustik zu etwa einem Drittel unterhalb der Werkstückoberfläche und zu zwei Dritteln oberhalb derselben. Hierbei können alle bekannten Nahtgeometrien wie Kehlnaht, Stumpfnahht oder V-Naht eingesetzt werden.

Bei der bislang eingesetzten Fügetechnik wird der Laserstrahl nur linear in Schweißrichtung bewegt, allenfalls mit einer Anpassung der Höhenlage der Kaustik bei nicht ebenen Werkstücken, wobei sich die Spitze von drahtförmigem Zusatzwerkstoff stets im Fokus befindet (DE 44 12 093 A1).

Durch die DE 43 41 255 A1 ist weiterhin ein Verfahren zum Laserstrahlschweißen von Bauteilen unter Zuhilfenahme eines Zusatzwerkstoffs bekannt, bei dem dieser Zusatzwerkstoff durch einen Vorsprung entlang der Schweißfuge gebildet wird. Durch einen spitzwinkligen bzw. streifenden Einfall des Laserstrahls auf diesen Vorsprung unter einem Winkel von weniger als 30 Grad, vorzugsweise zwischen 8 und 12 Grad, wird erreicht, daß der Laserstrahl gegebenenfalls mehrfach innerhalb des Schweißspalts reflektiert wird und dadurch nicht nur den Zusatzwerkstoff, sondern auch die Flanken des Schweißspalts auf Schmelztemperatur aufheizt. Der geschmolzene Zusatzwerkstoff wird dabei durch einen Gasstrahl in den Schweißspalt hineingeblasen, um dadurch Ungenauigkeiten in der Positionierung und der Fügestellengeometrie auszugleichen. Im übrigen wird der Laserstrahl auch hierbei absolut linear bewegt. Dieses bekannte Verfahren setzt eine spezielle Ausbildung der Werkstücke im Fügebereich voraus und ist daher nur in Sonderfällen anwendbar. Außerdem ist der Anteil der reflektierten Strahlenergie wiederum von der Fügestellengeometrie abhängig, so daß die Energieverteilung zwischen dem Zusatzwerkstoff und den Flanken des Schweißspaltes weitgehend dem Zufall überlassen bleibt.

Durch den Aufsatz von Haferkamp und Kreutzburg "Öldichtes Kupplungsgehäuse — Laserstrahlschweißen mit Zusatzwerkstoff", veröffentlicht in der Zeitschrift "Laser-Praxis", Juni 1955, Seiten 36 bis 39, ist es bekannt, die Strahlachse und einen zugeführten Draht mittig zum Fügespalt auszurichten, wobei der Zusatzdraht zur Vorschubrichtung der Werkstücke stechend angeordnet ist. Der dabei abgeschirmte Strahlanteil dient gemäß den Absorptionsbedingungen zum Aufschmelzen des Zusatzwerkstoffs. Es wird zum Ausdruck gebracht, daß der Schweißprozeß wesentlich von der Fokuslage des Laserstrahls in Wechselwirkung mit dem Anstellwinkel, der seitlichen Lage und dem Durchmesser des verwendeten Zusatzdrahtes beeinflusst wird. Es wird davon ausgegangen, daß eine genaue Positionierung des Zusatzdrahts im Brennfleck möglich ist. Es wird weiterhin ausgeführt, daß die stechend eingesetzte Drahtzuführung eine optimale Anpassung der Prozeßparameter erfor-

dert, da ansonsten sehr leicht die Gefahr besteht, daß es zu einem Anheften zwischen der Drahtspitze und sich nach dem Schweißort aufbauenden Schweißnaht-raupe kommt, so daß der gesamte Schweißvorgang abgebrochen werden muß. Weiterhin wird zum Ausdruck gebracht, daß es zu einer unsymmetrischen Ausbildung des Schmelzbades und der realisierten Schweißnaht kommt, wenn der Zusatzdraht seitlich zum Fügespalt fehlpositioniert wird. Die Folge ist die, daß die Flanken nicht gleichmäßig benetzt werden.

Die DE 43 16 360 A1 befaßt sich mit einem gattungsfremden Stand der Technik, nämlich mit einer Vorrichtung zum Erzeugen von Schwingungen für einen Laserstrahl, die jedoch nicht zum Schweißen bzw. Fügen, sondern zu thermischen Oberflächenbehandlungen eines durchgehenden Werkstücks dient, wie zum Oberflächenhärten, Oberflächenschmelzen und zum Oberflächenlegieren, gegebenenfalls auch unter Verwendung von Zusatzmaterial. Hier wird zum Ausdruck gebracht, daß eine Vergrößerung des Strahlquerschnitts durch Defokussierung nicht zum Erfolg führt, da dies eine sehr hohe Strahlleistung erfordert. Vielmehr soll die zu behandelnde Oberfläche durch Schwingungen des Laserstrahls abgerastert werden. Ein Einsatz dieser Vorrichtung zum Fügen bzw. Schweißen ist weder offenbart noch angesprochen.

Ein fokussierter Laserstrahl besitzt im Bereich seiner Kaustik einen Durchmesser zwischen etwa 0,2 und 1 mm. Daraus ergibt sich in Übereinstimmung mit dem Stande der Technik die Anforderung, daß die zu verschweißenden Werkstücke sehr exakt gefertigt werden müssen, um eine exakte Nahtfuge zu erreichen. Weiterhin muß die Spanntechnik entsprechend ausgelegt sein, um eine exakte Positionierung der Naht gegenüber dem Laserstrahl zu garantieren. Toleranzen, wie sie aus anderen Bereichen der Schweißtechnik bekannt sind, sind mit den zur Zeit bekannten Laserschweißverfahren nicht zu realisieren. Diese Anforderungen führen zu erheblichen Kosten für Halbezeuge und Maschineneinrichtungen, und zwar sowohl hinsichtlich der Investitionskosten als auch hinsichtlich der Betriebskosten.

Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren der eingangs beschriebenen Gattung anzugeben, das es erlaubt, die Vorteile der Lasertechnik wie hohe Schweißgeschwindigkeiten und geringe Wärme-einbringung in die Werkstücke zu nutzen, dabei aber größere Toleranzen im Schweißspalt zuzulassen. Insbesondere sollen bei sogenannten Kehlnahtschweißungen größere a-Maße erzielt werden.

Die Lösung der gestellten Aufgabe erfolgt bei dem eingangs angegebenen Verfahren erfindungsgemäß dadurch, daß die Laserstrahlung mindestens eines Laserstrahls unter einem Winkel von 45 bis 90 Grad zur Werkstückoberfläche aufgebracht wird, daß die Laserenergie innerhalb einer Fläche, die größer als die Brennfläche eines Laserstrahls mit optimalem Fokussierungszustand ist, verteilt in den Fügebereich der Werkstücke eingebracht wird und daß hierbei auch der Zusatzwerkstoff durch die Laserstrahlung aufgeschmolzen und die Schmelze des Zusatzwerkstoffs dem Fügebereich zugeführt wird.

Durch die erfindungsgemäße Lösung ist es möglich, größere Toleranzen im Schweißspalt sowie einfachere Spannvorrichtungen für die Werkstücke zuzulassen. Dabei werden auch die Vorteile der Lasertechnik wie hohe Schweißgeschwindigkeit und geringe Wärme-einbringung in die Werkstücke erhalten. Insbesondere aber läßt sich auch die Energieverteilung zwischen dem Zu-

satzwerkstoff und den Wandbereichen der Fügenaht genauer und vor allem reproduzierbar einstellen, so daß die Qualität der Schweißverbindung trotz der beschriebenen Toleranzen deutlich erhöht wird.

Hierbei spielt es auch eine erhebliche Rolle, daß sich das Zusatzmaterial, wenn es in Form von Endlosmaterial zugeführt wird, gleichfalls nicht genau positionieren läßt. Ein Zusatzdraht wird im allgemeinen von einer Rolle abgespult und durch eine Führungsdüse der Füge-
stelle zugeführt. Nach dem Austritt aus der Führungsdüse bleibt der Zusatzdraht leicht gekrümmt, so daß sich die abzuschmelzende Drahtspitze geometrisch unbestimmt innerhalb eines von der Drahtkrümmung bestimmten Kegels um die Düsenachse befindet. Aufgrund des weiter oben beschriebenen kleinen Durchmessers der Kaustik bzw. der Brennfläche führt dies dazu, daß der Laserstrahl beim Stande der Technik den Zusatzdraht zeitweise nicht erreicht und diesen nicht abschmelzen kann, so daß es zu Nahtfehlern (Poren oder Einfallstellen) oder zu einem Festbrennen des Zusatzdrahtes kommt.

Das erfindungsgemäße Verfahren mit seiner Flächenverteilung des Energieeintrags beseitigt auch diesen Nachteil des Standes der Technik, d. h. der Zusatzwerkstoff wird von der Laserstrahlung zuverlässig mit dem erforderlichen Energieanteil beaufschlagt, was bereits weiter oben beschrieben wurde.

Das erfindungsgemäße Verfahren läßt sich durch mehrere Ausführungsbeispiele verwirklichen.

Eine Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens besteht darin, daß mindestens ein Laserstrahl mit einer Bewegungskomponente, die quer zur Längsrichtung des Fügebereichs verläuft, zum Aufschmelzen des Zusatzwerkstoffs über diesen geführt wird.

Eine weitere Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens besteht darin, daß mindestens ein Laserstrahl mit einer Bewegungskomponente, die in Längsrichtung des Fügebereichs verläuft, zum Aufschmelzen des Zusatzwerkstoffs über diesen geführt wird.

Insbesondere kann man aber auch mit besonderem Vorteil die Längs- und Querkomponenten der Strahlbewegung relativ zum Werkstück einander überlagern. Denkbar sind Pendelbewegungen in Sinusform oder Zick-Zack-Form, Kreisform etc., wobei die Kreisform der Strahlbewegung durch die Überlagerung mit der Vorschubgeschwindigkeit des Werkstücks eine Zykloide bildet. Hierbei kann man die Verweilzeiten in Querrichtung des Fügebereichs variieren, um dadurch einen unterschiedlichen Wärmebedarf durch die Werkstücke einerseits und das Zusatzmaterial andererseits optimal aufeinander abzustimmen. Durch eine längere relative Verweilzeit an den Umkehrpunkten des oszillierenden Laserstrahls kann beispielsweise ein Teil des Wärmeabflusses in dickere Werkstücke kompensiert werden. Dabei muß der Laserstrahl nicht kontinuierlich bewegt werden: Es ist auch möglich, den Laserstrahl durch eine Art Sprungweiche pulsierend auf die eine oder andere Stelle des Fügebereichs zu richten. Diese Vorgänge lassen sich auch ohne weiteres regelungstechnisch beherrschen, wenn die Temperaturverteilung und beispielsweise die Vorschubgeschwindigkeit von Endlosmaterial als Zusatzwerkstoff erfaßt und einer Regelanordnung für die Einstellung der verschiedenen Schweißparameter zugeführt werden.

Die Erfindung läßt sich auch dadurch verwirklichen, daß mehrere Laserstrahlen eingesetzt werden, deren Brennflächen in Fugerichtung entweder nebeneinander oder hintereinander liegen und auf die Werkstücke so-

wie auf den Zusatzwerkstoff gerichtet werden. Auch dann, wenn diese Laserstrahlen stationär sind, ist die Bedingung erfüllt, daß die Laserenergie innerhalb einer Fläche, die größer ist als die Brennfläche eines einzigen Laserstrahls auf die Werkstücke aufgebracht wird. Selbstverständlich ist es möglich, auch zwei oder mehr Laserstrahlen entsprechend den weiter oben gemachten Ausführungen zu bewegen und/oder alternierend durch eine Sprungweiche impulsartig zum Einsatz zu bringen.

Der Zusatzwerkstoff kann dabei in Form von Endlosmaterial aus der Gruppe Drähte, Stäbe und Bänder oder in Form von Pulver verwendet werden, die sämtlich auf die angegebene Weise von der Laserstrahlung beaufschlagt werden.

Auch hinsichtlich der Zuführungsrichtung der Zusatzwerkstoffe sind durch die erfindungsgemäße Energieverteilung zahlreiche Alternativen möglich:

So ist es möglich, das Endlosmaterial in der Mitte des Fügungsbereiches zuzuführen. Weiterhin ist es möglich, das Endlosmaterial dem Fügebereich von einer Seite oder von beiden Seiten her zuzuführen, gegebenenfalls auch durch mehr als zwei Drähte. Schließlich ist es möglich, das Endlosmaterial dem Fügebereich, in Fugerichtung gesehen, von vorn und/oder von hinten zuzuführen. Auch ist es möglich, das Endlosmaterial gegenüber dem mindestens einen Laserstrahl zu bewegen.

Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen des erfindungsgemäßen Verfahrens ergeben sich aus den übrigen Unteransprüchen.

Die Erfindung betrifft auch eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens. Zur Lösung der gleichen Aufgabe ist diese Vorrichtung dadurch gekennzeichnet, daß an einem in Richtung des Fügebereichs beweglichen Arbeitskopf mindestens eine Zuführeinrichtung für Endlosmaterial, mindestens ein Laser mit einer Fokussierungseinrichtung (Fokussierungsspiegel, Linse) und mindestens eine periodisch arbeitende Ablenkeinrichtung für jeweils einen Laserstrahl angeordnet sind.

Mehrere Ausführungsbeispiele des Erfindungsgegenstandes werden nachfolgend anhand der Fig. 1 bis 11 näher erläutert.

Es zeigen:

Fig. 1 einen Vertikalschnitt durch einen sogenannten Arbeitskopf mit einem Laser und den zugehörigen optischen Einrichtungen sowie mit einer Zuführeinrichtung für Endlosmaterial oberhalb einer Fügenaht,

Fig. 2 einen Ausschnitt aus Fig. 1 in vergrößertem Maßstab,

Fig. 3 eine Draufsicht auf den Gegenstand von Fig. 2,

Fig. 4 und 5 eine Anordnung mit seitlicher Zuführung des Zusatzmaterials und einer Strahlbewegung in Längsrichtung des Fügebereichs,

Fig. 6 und 7 den Verfahrensablauf beim Schweißen einer Kehlnaht,

Fig. 8 und 9 mögliche Relativbewegungen eines Laserstrahls relativ zu den Werkstücken,

Fig. 10 eine Anordnung mit zwei stationären Laserstrahlen, deren fokussierte Bereiche unter einem Winkel aufeinander zu gerichtet sind und

Fig. 11 eine Anordnung analog Fig. 5, jedoch mit insgesamt vier Laserstrahlen und zwei Zusatzdrähten, die von gegenüberliegenden Seiten dem Fügebereich zugeführt werden.

In Fig. 1 ist ein Arbeitskopf 1 dargestellt, der über eine Aufhängevorrichtung 2 in Richtung des Pfeils 3 verschiebbar aufgehängt ist, und zwar beispielhaft an einem nicht dargestellten Industrie-Roboter. Der Pfeil 3 definiert auch die Schweißrichtung, die parallel zur Zei-

chenebene verläuft. In dieser Zeichenebene liegt auch die Schweißfuge 4 zweier Werkstücke 5 und 6.

Zum Arbeitskopf 1 gehört ein Laser 7, der von beliebiger Bauart sein kann und von dem nur das Ende dargestellt ist. Dieser Laser 7 emittiert einen zunächst noch unfokussierten Laserstrahl 8, der entlang einer Achse A-A innerhalb eines Gehäuses 9 mit einer Stirnwand 10 geführt wird; über die das Gehäuse 9 an der Aufhängevorrichtung 2 befestigt ist. Der Laserstrahl 8 trifft auf einen Fokussierspiegel 11 auf, der eine schräggestehende Parabolfläche 12 und einen Lagerzapfen 13 besitzt, durch den die Parabolfläche 12 um die Achse A-A hin und her schwenkbar ist. Diese Schwenkbewegung wird durch einen mit dem Lagerzapfen 13 verbundenen Hebel 14 herbeigeführt, der eine radiale Kulissee 15 aufweist, in die ein Kurbelzapfen 16 eines Antriebsmotors 17 eingreift. Dadurch führt die Parabolfläche 12 eine periodische Oszillationsbewegung um die Achse A-A aus, und der von der Parabolfläche 12 ausgehende fokussierte Bereich 18 des Laserstrahls 8 oszilliert mit seinem Brennfleck 19 quer zur Schweißfuge 4 und damit quer zur Zeichenebene. Weitere Einzelheiten werden anhand der Fig. 2 und 3 näher erläutert.

An der Aufhängevorrichtung 2 ist eine Zuführeinrichtung 20 für drahtförmiges Endlosmaterial 21 angebracht, das durch eine Führungsdüse 22 geführt ist, die mit Abstand vor der Brennoffläche 19 endet. Auch das Endlosmaterial 21 wird soweit in die Nähe der Schweißfuge 4 geführt, daß seine Spitze 23 im Pendelbereich der Brennoffläche 19 liegt. Das Endlosmaterial wird durch Transportrollen 24 nach Maßgabe seines Verbrauchs nachgeführt. Die Vorratsspule für das Endlosmaterial ist nicht dargestellt. Unter dem Ausdruck "Endlosmaterial" wird auch solches Material verstanden, das eine endliche Länge hat, jedoch den Betrieb der Vorrichtung über längere Zeit gewährleistet.

Für alle hier dargestellten Ausführungsbeispiele spielt die Bauart des Lasers, z. B. ein CO₂ oder Nd:YAG keine Rolle. Des weiteren ist es für die Ausführung der Erfindung unerheblich, ob zur Fokussierung des Laserstrahls eine Linse, ein Fokussierspiegel oder andere optische Elemente verwendet werden. Auch können für die Bewegung des fokussierten Bereichs 18 des Laserstrahls 8 auch andere mechanische und/oder elektromechanische Einrichtungen verwendet werden, die eine Oszillationsbewegung des Brennflecks 19 ermöglichen. Letztendlich ist es auch möglich, den Laser selbst bzw. seine Achse A-A zu bewegen, d. h. lateral zu verschieben oder einer Pendelbewegung zu unterwerfen.

Die Fig. 2 und 3 zeigen die Verhältnisse gemäß Fig. 1 deutlicher. Zwischen den Werkstücken 5 und 6 befindet sich die Schweißfuge 4, die jedoch als V-Naht ausgeführt ist, und deren Breite im Bereich der Werkstückoberfläche 26 als Fügebereich 25 bezeichnet wird. Der Doppelpfeil 27 symbolisiert die Pendelbewegung der Brennoffläche 19, die in Fig. 3 übertrieben groß dargestellt ist. Es ist zu erkennen, daß der Pendelbereich der Brennoffläche 19 auch die Breite des Fügebereichs 25 überschreiten kann, um den erforderlichen Energieeintrag in die Werkstücke 5 und 6 zu gewährleisten. Bei seiner Oszillationsbewegung überstreicht die Brennoffläche 19 auch die Spitze 23 des Endlosmaterials 21, und zwar in der Mitte des Fügebereichs 25. Bei den kreuzschraffierten Stellungen der Brennoffläche 19 handelt es sich jeweils um Zwischenstellungen, die in der Regel kontinuierlich vom Laserstrahl durchlaufen werden. Der mittlere kreuzschraffierte Bereich symbolisiert je-

doch diejenige Stellung, bei der die Spitze 23 des Endlosmaterials 21 abgeschmolzen wird. Es ist erkenntlich, daß diese Verhältnisse auch dann eintreten, wenn das Ende des Endlosmaterials 21 nach dem Austritt aus der Führungsdüse 22 wieder einen gekrümmten Verlauf einnehmen sollte, wodurch sich die Spitze 23 im allgemeinen in allen drei Raumkoordinaten bewegt. Die sehr gleichmäßig ausgebildete Schweißnaht 28 ist Fig. 3 zu entnehmen.

Die Fig. 4 und 5 zeigen eine alternative Lösung, bei der der fokussierte Bereich 18 des Laserstrahls 8 in Richtung der Doppelpfeile 29 bewegt wird, und zwar dieses Mal parallel zur Schweißfuge 4 bzw. zum Fügebereich 25. Die beiden extremen Lagen der Brennoffläche 19 sind übertrieben groß dargestellt. Das Endlosmaterial 21 wird in diesem Fall von der Seite her, d. h. horizontal, zugeführt, und seine Spitze 23 liegt im Pendelbereich des fokussierten Bereichs 18. Dadurch wird auch in diesem Fall die Spitze 23 des Endlosmaterials 21 abgeschmolzen, und zwar ohne Rücksicht auf etwaige Auslenkungen der Spitze 23 in vertikaler oder horizontaler Richtung. In Fig. 5, deren Maßstab gegenüber Fig. 4 deutlich vergrößert ist, ist eine weitere Möglichkeit angedeutet, nämlich, gegenüber der Führungsdüse 20 eine weitere Führungsdüse 22a für weiteres Endlosmaterial 21a anzuordnen. Die Spitzen 23 und 23a werden alsdann beide durch den pendelnden Laserstrahl abgeschmolzen. Auch in diesem Fall werden durch die Pendelbewegung des Laserstrahls einerseits die Flanken aufgeschmolzen, andererseits wird beim Überstreichen des Endlosmaterials dessen Spitze 23 bzw. 23a zuverlässig erfaßt und abgeschmolzen. Die Fokussierung des Laserstrahls 8 und die Auslenkung des fokussierten Bereichs 18 erfolgen in diesem Falle durch eine Linse 30, die entsprechend beweglich aufgehängt ist, wobei der Antrieb in ähnlicher Weise erfolgen kann wie bei dem Gegenstand von Fig. 1.

Die Fig. 6 und 7 zeigen die Verhältnisse beim Schweißen einer Kehlnaht, d. h. die beiden Werkstücke 5 und 6 stehen entlang eines Fügebereichs 25 senkrecht aufeinander. In diesem Falle erfolgt eine Pendelung des fokussierten Bereichs 18 des Laserstrahls 8 in Richtung der Doppelpfeile 27, d. h. wiederum quer zur Schweißfuge 4 bzw. zum Fügebereich 25 um eine winkelhalbierende Ebene der beiden Werkstücke 5 und 6. Die beiden extremen Stellungen des einzigen Laserstrahls sind in Fig. 6 schraffiert dargestellt; diesen Stellungen entsprechen die Positionen des Brennflecks 19 in Fig. 7, die gegenüber Fig. 6 wiederum deutlich vergrößert dargestellt ist. Fig. 7 zeigt den Gegenstand von Fig. 6 mit Blickrichtung gemäß dem Pfeil VII. Die Schweißrichtung ist auch hier durch den Pfeil 3 angegeben. In Fig. 6 verläuft die Schweißrichtung senkrecht zur Zeichenebene. Es ist auch den Fig. 6 und 7 zu entnehmen, daß der fokussierte Bereich 18 des Laserstrahls 8 jeweils die Spitze 23 des Endlosmaterials 21 überstreicht und auf diese Weise dessen kontinuierliches Abschmelzen ermöglicht.

Die Fig. 8 und 9 zeigen den möglichen Verlauf der Brennoffläche 29 relativ zum Fügebereich 25 bzw. zur Schweißfuge 4. Die Brennoffläche ist in den verschiedenen Zwischenlagen stark übertrieben durch Kreise dargestellt. Bei dem Beispiel nach Fig. 8 entspricht das Ablenkmuster relativ zu den Werkstücken 5 und 6 exakt einer Zick-Zack-Linie, die sich über den Fügebereich 25 erstreckt. Bei dem Beispiel nach Fig. 9 entspricht das Ablenkmuster einer Sinuslinie, d. h. die Verweilzeit des Brennflecks auf den Werkstücken ist entlang der Begrenzungslinien des Fügebereichs 25 deutlich erhöht, so

daß durch diese Maßnahmen übermäßige Wärmeabflüsse an dem dickeren Teil der Werkstücke kompensiert werden.

Bei dem Beispiel nach Fig. 10 verläuft die Schweißfuge 4, die hier besonders breit dargestellt ist, senkrecht zur Zeichenebene. In Fig. 10 sind zwei Laserstrahlen 8 dargestellt, die nach Fokussierung durch die Linsen 30 fokussierte Bereiche 18 aufweisen, deren Achsen unter einem Winkel zueinander ausgerichtet sind. Die Brennflächen 19 liegen in diesem Fall in größerer Tiefe der Werkstücke 5 und 6. Das zugeführte Endlosmaterial und die jeweils benötigte Führungsdüse sind nicht dargestellt; sie können in einer der bisher beschriebenen Raumlagen angeordnet sein, in denen sie von der Energie der Laserstrahlen so beaufschlagt werden, daß ein Abschmelzen des Endlosmaterials und ein Auffüllen der Schweißfuge 4 erfolgen kann. Hierbei durchdringen sich die fokussierten Bereiche 18, so daß es in diesem Falle zweckmäßig ist, das Zusatzmaterial in den Überlappungsbereich einzubringen, da an dieser Stelle eine besonders hohe Aufschmelzleistung gegeben ist.

In dem in Fig. 10 dargestellten Fall führen die Laserstrahlen gegenüber der Schweißfuge keine Pendelbewegungen aus, aber es ist auch hierbei die Bedingung erfüllt, daß die Laserstrahlung über einen Bereich ausgedehnt wird, der größer ist als der Brennfleck eines einzigen Laserstrahls.

Bei dem Beispiel nach Fig. 11 sind insgesamt vier Laserstrahlen vorgesehen, die Brennflächen 19a, 19b, 19c und 19d erzeugen, deren nicht näher bezeichnete Achsen die Ecken eines im Fügebereich 25 liegenden virtuellen Vierecks durchdringen, wobei die Brennflächen 19a und 19d einerseits und 19b und 19c andererseits unmittelbar aneinanderstoßen oder einander sogar teilweise überlappen. Von beiden Seiten her wird mittels einander gegenüberliegender Führungsdüsen 22 und 22a Endlosmaterial 21 und 21a in Drahtform so auf die Schweißfuge 4 und damit in den Fügebereich 25 vorgeschoben, daß das Endlosmaterial 21, 21a stets von mindestens einem Laserstrahl getroffen wird. Dies ist auch dann der Fall, wenn das Endlosmaterial gekrümmt aus den Führungsdüsen 22, 22a austreten sollte. Auch in diesem Fall ist die Bedingung erfüllt, daß die Laserenergie innerhalb einer Fläche, die größer ist als die Brennfläche eines einzigen Laserstrahls aufgebracht wird. Es ist auch möglich, den Brennflächen 19a bis 19d oszillierende Bewegungen zu überlagern. Die Brennflächen 19a bis 19d können hierbei synchrone gleichgerichtete Bewegungen ausführen; es kann sich aber auch um Einzelbewegungen handeln, die in einer zweckmäßigen Weise miteinander korreliert sind. Auch müssen die Brennflächen 19a bis 19d nicht zwingend auf den Ecken eines Rechtecks liegen, sondern das angegebene Viereck kann auch eine Raute, ein Parallelogramm oder ein Trapez sein. Auch ist es nicht zwingend erforderlich, den Zusatzwerkstoff von beiden Seiten her zuzuführen; es ist auch ohne weiteres möglich, auf eine der Zuführungsvorrichtungen zu verzichten.

Es sei noch angemerkt, daß der Fokussierungsspiegel 11 mit der Parabolfläche 12, dem Lagerzapfen 13, dem Hebel 14 und der Kulissee 15 einerseits und der Antriebsmotor 17 mit dem Kurbelzapfen 16 andererseits eine Ablenkvorrichtung 31 bilden, die in dieser oder einer analogen Art auch für die Linse 30 angewendet werden kann.

Die Ablenkfrequenz ist hoch im Verhältnis zur Vorschubgeschwindigkeit, wobei folgende Kriterien zu beachten sind:

- a) enges bzw. lückenloses Ablenkmuster, gegebenenfalls Überschneidung,
- b) keine Unterbrechung des Schweißvorganges innerhalb einer Ablenkperiode.

Die Darstellung in den Fig. 8 und 9 ist also in Naht- richtung stark übertrieben dargestellt und dient lediglich der Veranschaulichung der Vorgänge. Die erforderlichen Ablenkfrequenzen, Amplituden, Vorschubgeschwindigkeiten und Leistungsdichten sowie die anteiligen Verweilzeiten auf dem Zusatzwerkstoff und den Werkstücken lassen sich in Abhängigkeit von den Werkstückgeometrien und Werkstoffen experimentell bestimmen.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Fügen von Werkstücken (5, 6) durch Laserstrahlung mit optimalem Fokussierungszustand gegenüber den Werkstücken (5, 6) unter Zufuhr mindestens eines Zusatzwerkstoffs entlang eines aufzuschmelzenden Fugebereichs (25), dadurch gekennzeichnet, daß die Laserstrahlung mindestens eines Laserstrahls (8, 18) unter einem Winkel von 45 bis 90 Grad zur Werkstückoberfläche (26) aufgebracht wird, daß die Laserenergie innerhalb einer Fläche, die größer als die Brennfläche (19, 19a, 19b, 19c, 19d) eines Laserstrahls (18) mit optimalem Fokussierungszustand ist, verteilt in den Fugebereich (25) der Werkstücke (5, 6) eingebracht wird und daß hierbei auch der Zusatzwerkstoff durch die Laserstrahlung aufgeschmolzen und die Schmelze des Zusatzwerkstoffs dem Fugebereich (25) zugeführt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens ein Laserstrahl (8, 18) mit einer Bewegungskomponente, die quer zur Längsrichtung des Fugebereichs (25) verläuft, zum Aufschmelzen des Zusatzwerkstoffs über diesen geführt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens ein Laserstrahl (8, 18) mit einer Bewegungskomponente, die in Längsrichtung des Fugebereichs (25) verläuft, zum Aufschmelzen des Zusatzwerkstoffs über diesen geführt wird.
4. Verfahren nach den Ansprüchen 2 und 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Längs- und Querkomponenten der Strahlbewegung einander überlagert werden.
5. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens zwei Laserstrahlen (8, 18), deren Brennflächen (19, 19a, 19b, 19c, 19d) in Fuge- richtung nebeneinander liegen, auf die Werkstücke (5, 6) und auf den Zusatzwerkstoff gerichtet werden.
6. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens zwei Laserstrahlen (8, 18), deren Brennflächen (19, 19a, 19b, 19c, 19d) in Fuge- richtung hintereinander liegen, auf die Werkstücke (5, 6) und auf den Zusatzwerkstoff gerichtet werden.
7. Verfahren nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß die fokussierten Bereiche (18) der Laserstrahlen (8) parallel zueinander verlaufen.
8. Verfahren nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß die fokussierten Bereiche (18) der Laserstrahlen (8) unter einem

Winkel aufeinander zu gerichtet sind.

9. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß Zusatzwerkstoffe in Form von Endlosmaterial (21) aus der Gruppe Drähte, Stäbe und Bänder verwendet werden.

10. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß Zusatzwerkstoffe in Form von Pulver verwendet werden.

11. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß das Endlosmaterial (21) in der Mitte des Fügebereichs (25) zugeführt wird.

12. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß das Endlosmaterial (21) dem Fügebereich (25) von der Seite her zugeführt wird.

13. Verfahren nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß das Endlosmaterial (21) dem Fügebereich (25) von beiden Seiten her zugeführt wird.

14. Verfahren nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß das Endlosmaterial (21) dem Fügebereich — in Fugerichtung gesehen — von vorn und von hinten zugeführt wird.

15. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß das Endlosmaterial (21) gegenüber dem mindestens einen Laserstrahl bewegt wird.

16. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens ein Laserstrahl (8, 18) in einer ringförmigen Bewegung um die Spitze (23) des zugeführten Endlosmaterials (21) herumgeführt wird.

17. Verfahren nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß die Spitzen (23) des Endlosmaterials (21) auf den Randbereich der Schmelzzone des Fügebereichs (25) zugeführt werden.

18. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Zusatzwerkstoff mittelbar durch von der Laserstrahlung gebildetes Plasma aufgeschmolzen wird.

19. Verfahren nach den Ansprüchen 3 und 12, dadurch gekennzeichnet, daß die Achsen von vier Laserstrahlen (18) die Ecken eines im Fügebereich (25) liegenden virtuellen Vierecks durchdringen und daß mindestens eine Spitze (23, 23a, 23b) von Endlosmaterial (21) — in der Draufsicht gesehen — innerhalb des besagten Vierecks liegt.

20. Verfahren nach mindestens einem der Ansprüche 2 und 3, dadurch gekennzeichnet, daß der mindestens eine Laserstrahl (8, 18) impulsweise auf unterschiedliche Stellen des Fügebereichs (25) und auf den Zusatzwerkstoff gerichtet wird.

21. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß an einem in Richtung des Fügebereichs (25) beweglichen Arbeitskopf (1) mindestens eine Zuführeinrichtung (20) für Endlosmaterial (21), mindestens ein Laser (7) mit einer Fokussierungseinrichtung (Fokussierungsspiegel 11, Linse 30) und mindestens eine periodisch arbeitende Ablenkeinrichtung (31) für jeweils einen Laserstrahl (8, 18) angeordnet sind.

Hierzu 6 Seite(n) Zeichnungen

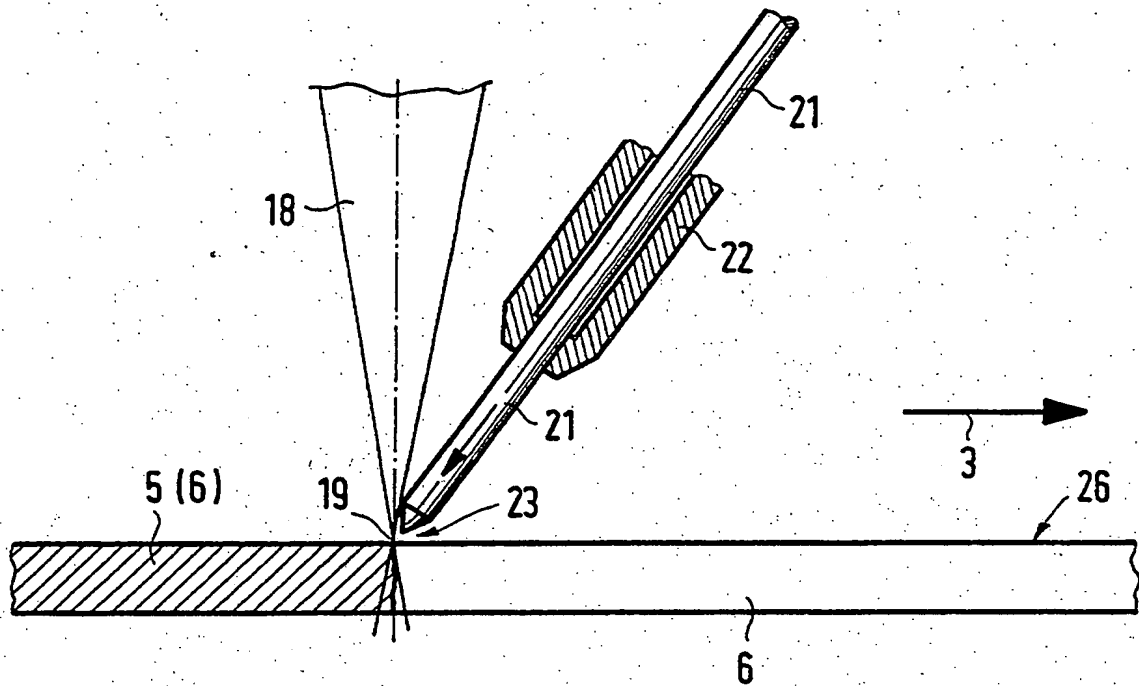


Fig. 2

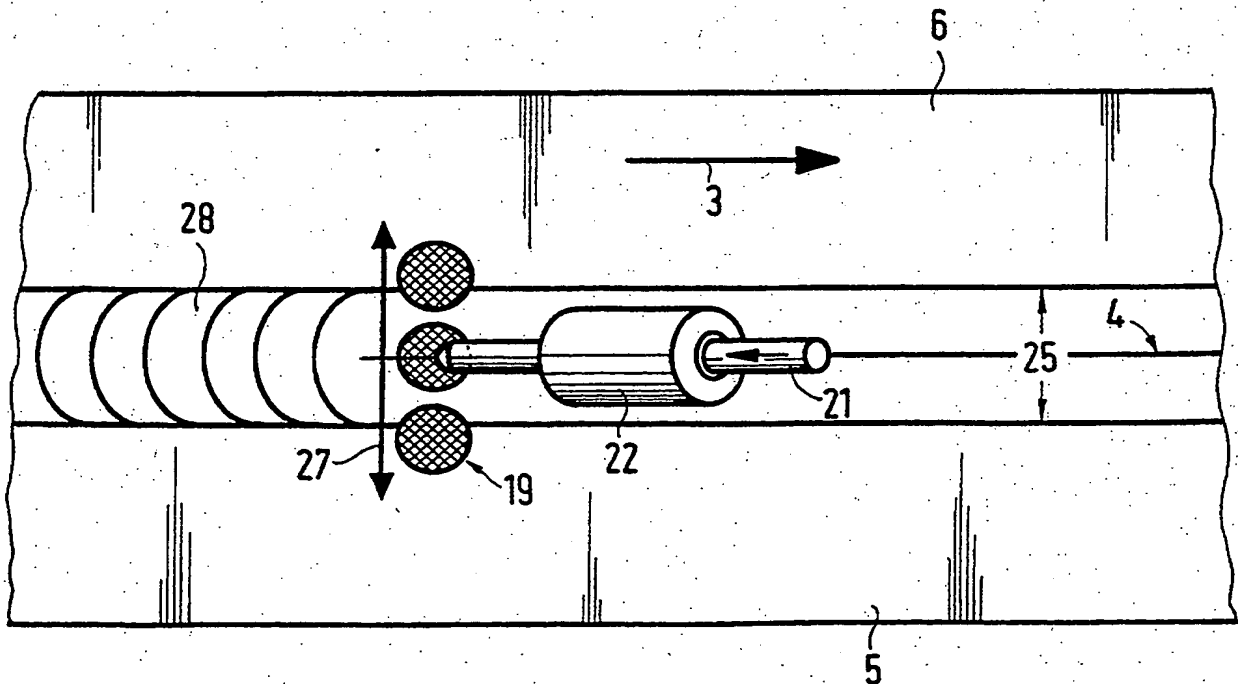
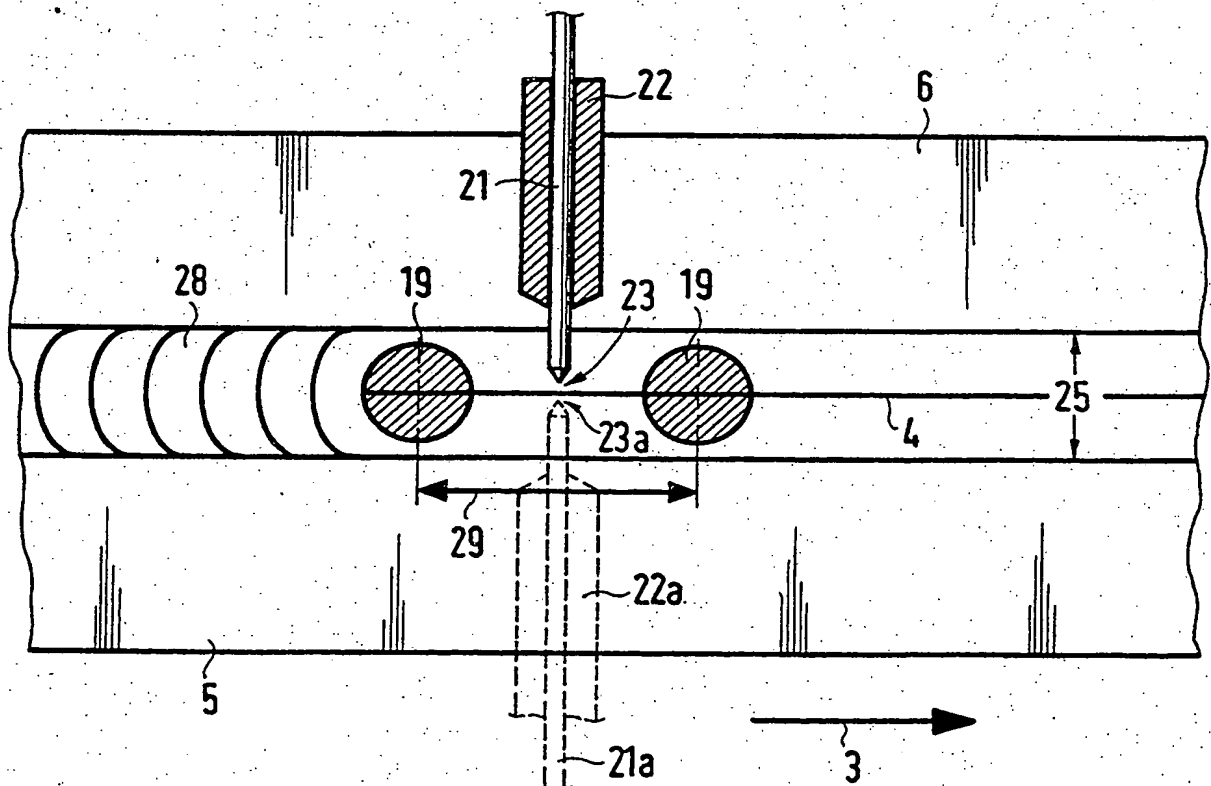
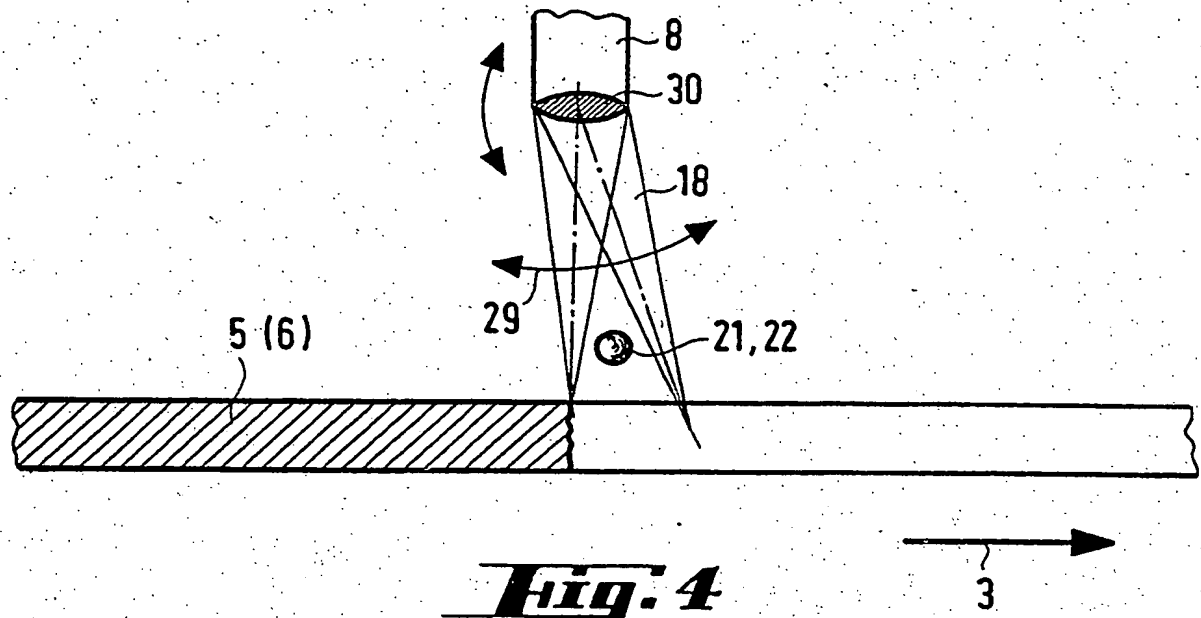
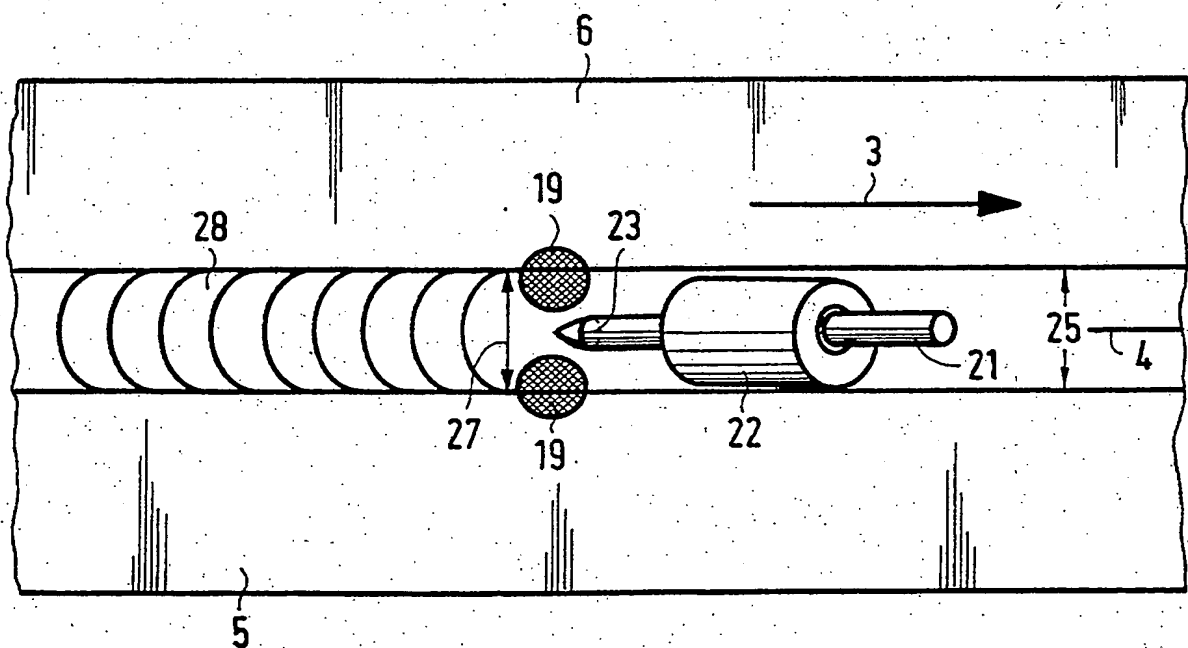
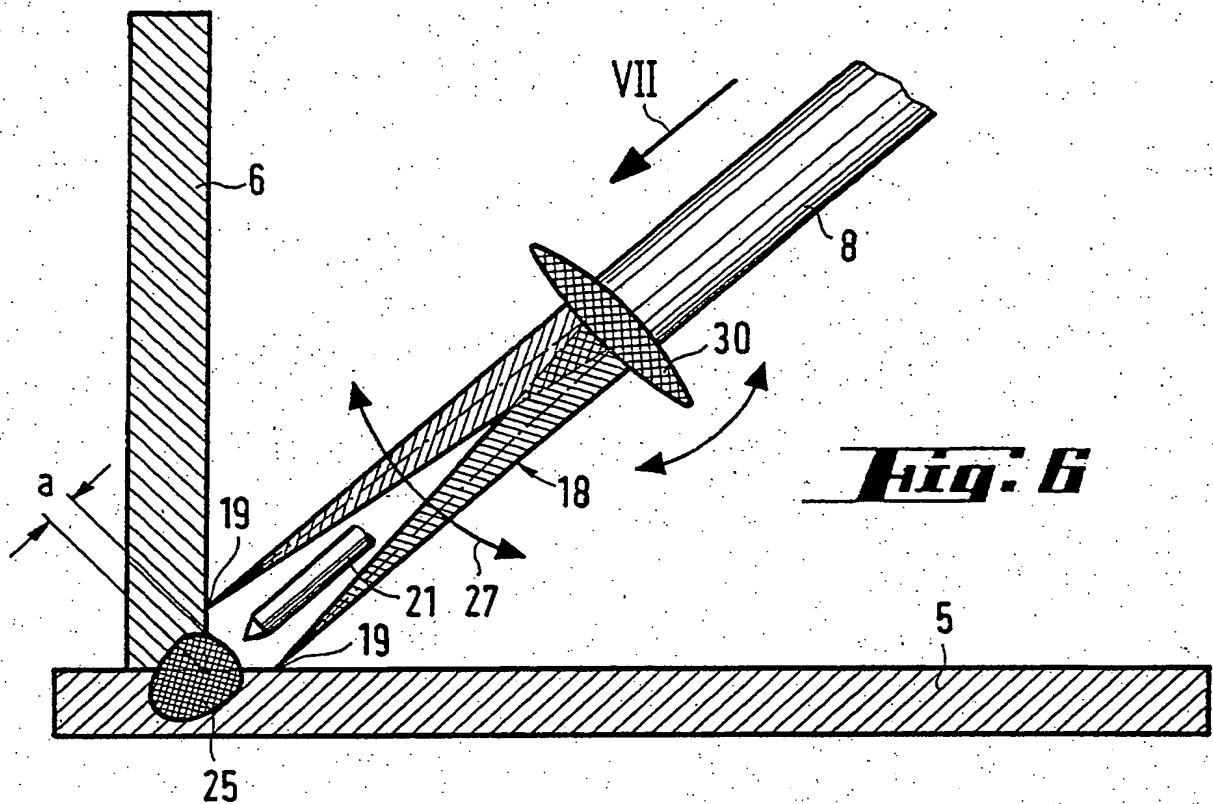


Fig. 3





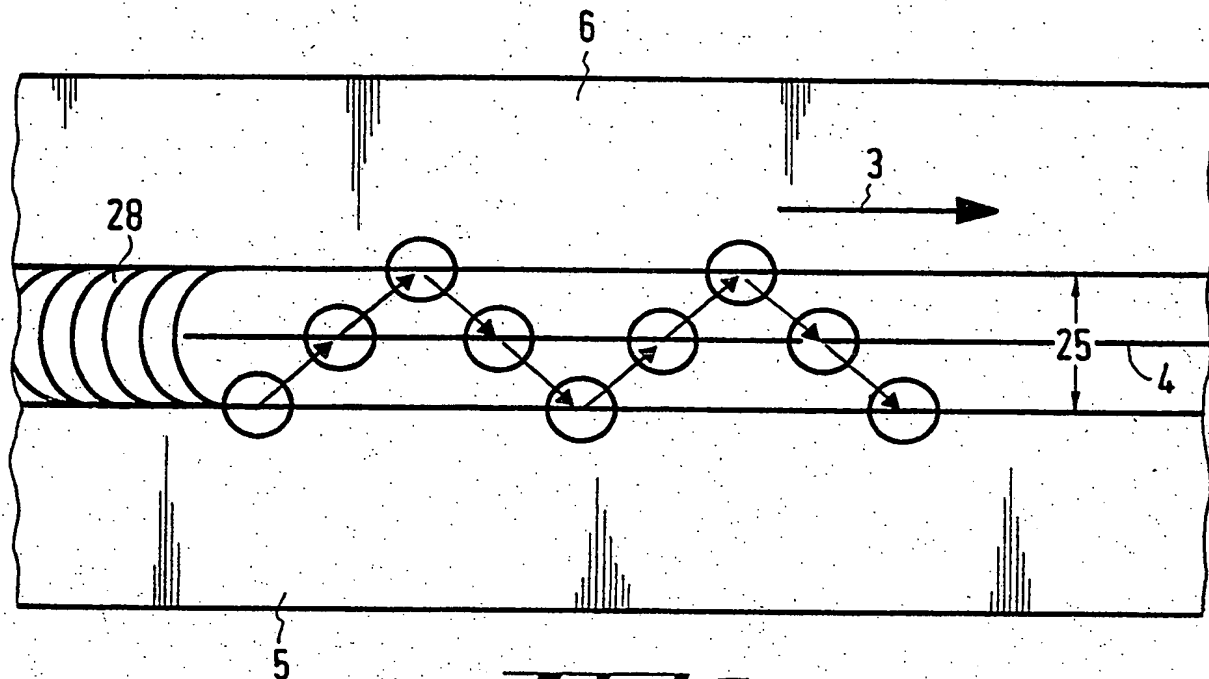


Fig. 8

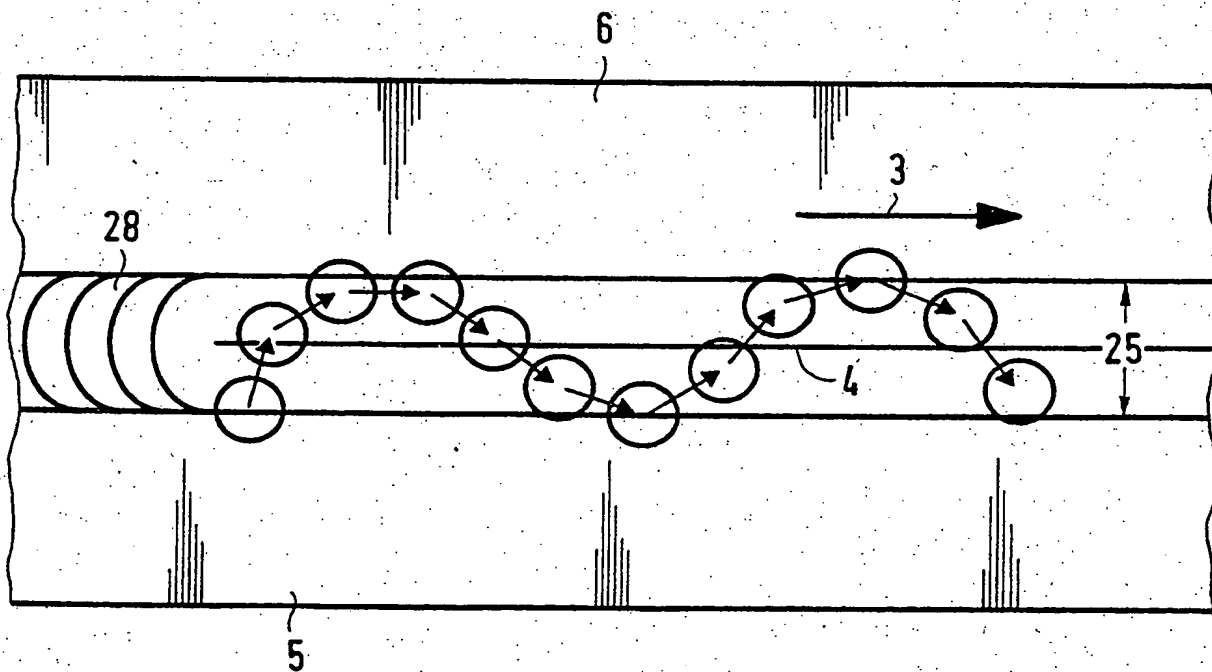


Fig. 9

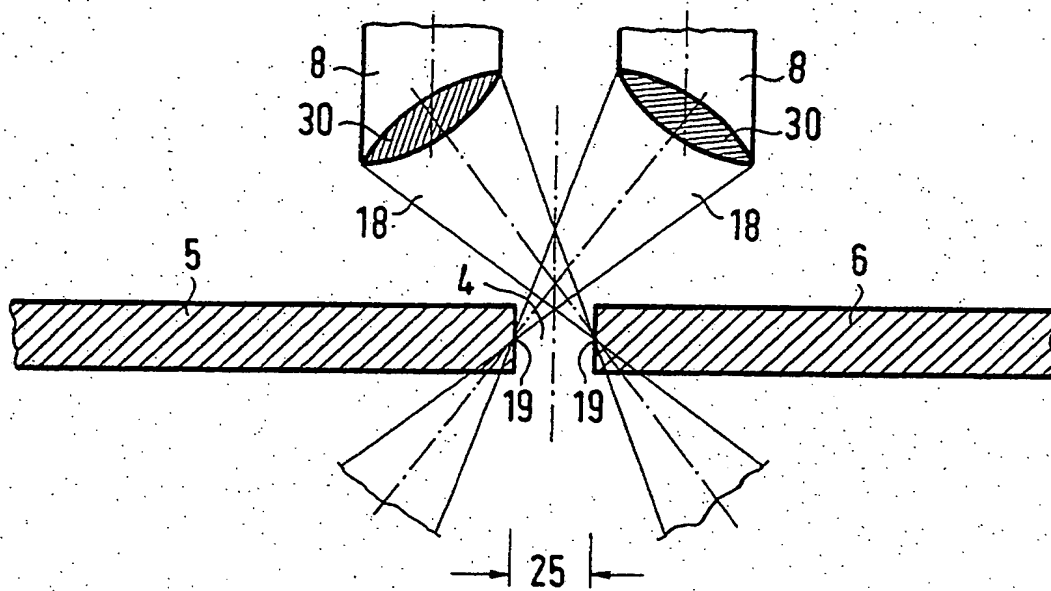


Fig. 10

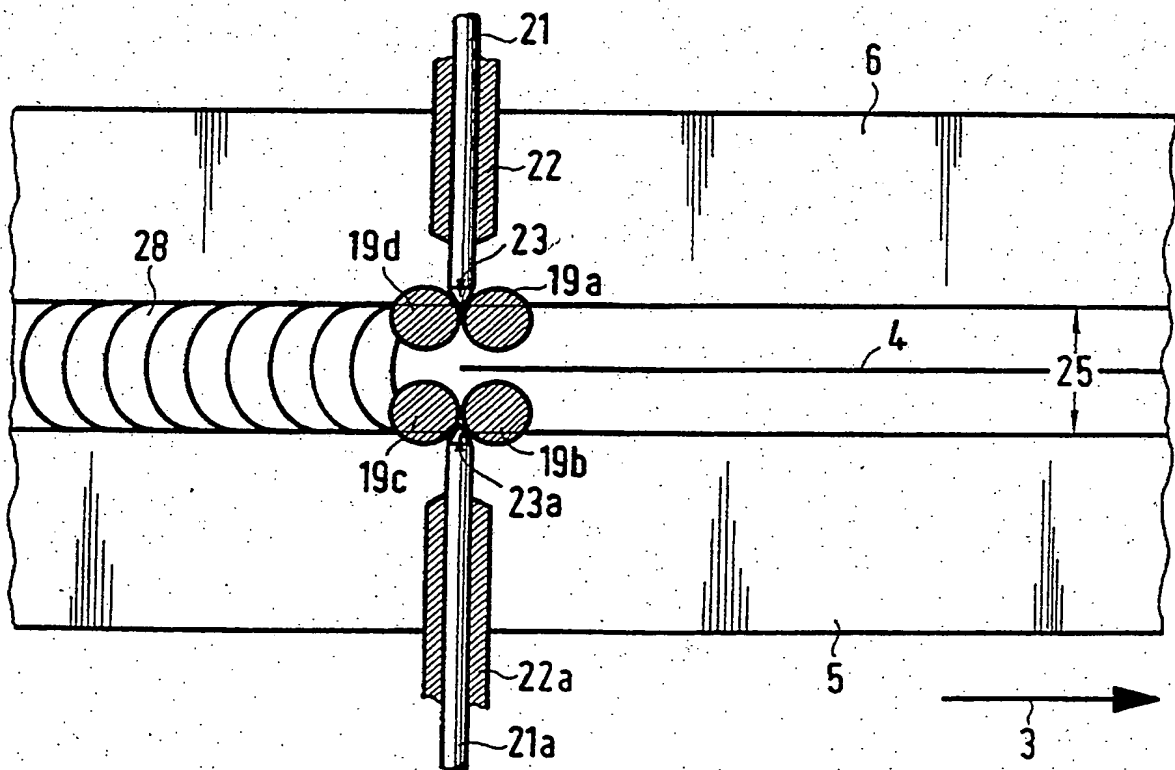


Fig. 11